

Tomáš PETŘÍK¹, Martin STOLÁRIK²

**EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ A NUMERICKÝ MODEL DYNAMICKÝCH ÚČINKŮ
VIBRAČNÍHO VÁLCE**

**EXPERIMENTAL MEASUREMENT AND NUMERICAL MODELLING OF DYNAMIC
RESPONSE OF VIBRATORY ROLLER**

Abstrakt

Příspěvek se zabývá dynamickými účinky vyvolanými pojezdem vibračního válce. V příspěvku jsou zpracována data seizmického experimentálního měření dynamické odezvy vibračního válce a dále je představen dvojdimenzionální matematický model znázorňující danou situaci. Výstupy tohoto matematického modelu pak jsou konfrontovány s výsledky experimentálního měření.

Klíčová slova

Vibrační válec, numerický model, Plaxis 2D, dynamické účinky, experimentální měření.

Abstract

This contribution deals with the dynamic effects of vibratory roller. In the paper, there are processed seismic data from experimental measurement of the dynamic response of vibratory roller, and it is introduced two-dimensional mathematical model depicting the real situation. The output of this mathematical model is in the confrontation with the results of experimental measurements.

Keywords

Vibratory roller, numerical model, Plaxis 2D, dynamic effects, experimental measurement.

1 ÚVOD

Předkládaný příspěvek se zabývá dynamickými účinky vyvolanými pojezdem vibračního válce. V příspěvku jsou zpracována data seizmického experimentálního měření dynamické odezvy vibračního válce a dále je představen dvojdimenzionální matematický model znázorňující danou situaci. Výstupy tohoto matematického modelu pak jsou konfrontovány s výsledky experimentálního měření.

Sledovanou lokalitou byla průmyslová zóna v obci Poříčany, kde při výstavbě strojírenského závodu byla při zhutnění zeminy pod budoucími základy použita také vibrační technika. Kromě vibrovaných šterkových pilot [1] zde byl ke zhutňování zeminy použit i pojezd vibračního válce.

Vibrační válec patří mezi stroje určené pro hutnění zemin nebo asfaltů. Na rozdíl od statického válce působí na zemní plášť kromě své statické váhy i dynamickou silou [2]. Ta je způsobena vibrujícím běhounem (válec). Vibrační válec můžeme rozdělit do čtyř kategorií na ručně vedené, tandemové (se dvěma běhouny), tahačové (použité v modelu) a tažené válce. Základními parametry

¹ Ing. Tomáš Petřík, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 362, e-mail: tomas.petrik@vsb.cz.

² Ing. Martin Stolarík, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 362, e-mail: martin.stolarik@vsb.cz.

vibračních válců jsou provozní hmotnost, statická lineární síla (zatížení běhounu na jeho délku), amplituda vibrace, frekvence vibrace a odstředivá (vibrační) síla. Při využití vibračních válců pro zhutnění zemní pláně dochází mj. ke vzniku seizmických efektů. Ty mohou mít nepříznivé účinky na okolní horninové prostředí a přilehlou zástavbu. Tyto účinky jsou ovlivněny mnoha faktory, především pak velikostí dynamických parametrů vibračních válců, vlastnostmi horninového prostředí a vzdáleností posuzovaného místa od místa pojezdu vibračního válce. Proto je nutné tyto seizmické účinky monitorovat a v případě potřeby přizpůsobit technologii tak, aby seizmický projev nepřekročil přípustnou mez.

Pro hutnění zemní pláně pro základy strojírenské haly byl využit vibrační válec firmy HAMM, typ 3520. Tento vibrační válec disponující motorem DEUTZ TCD 2012 L062V má 2 stupně nastavení frekvence vibrování (hutnění), a to 27Hz a 30Hz. Ostatní parametry vibračního válce vycházejí z prospektů firmy HAMM a jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1: Parametry vibračních válců podle výrobců [3]

Vibrační válec HAMM 3520 s motorem DEUTZ TCD 2012 L06 2V		
Provozní hmotnost	19800	kg
Hmotnost běhounu	12490	kg
Statická lineární síla	56,3	kN/m
Šíře běhounu	2220	mm
Amplituda vibrace	2,00 / 1,19	mm
Frekvence	27 / 30	Hz
Odstředivá síla	331 / 243	kN

2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

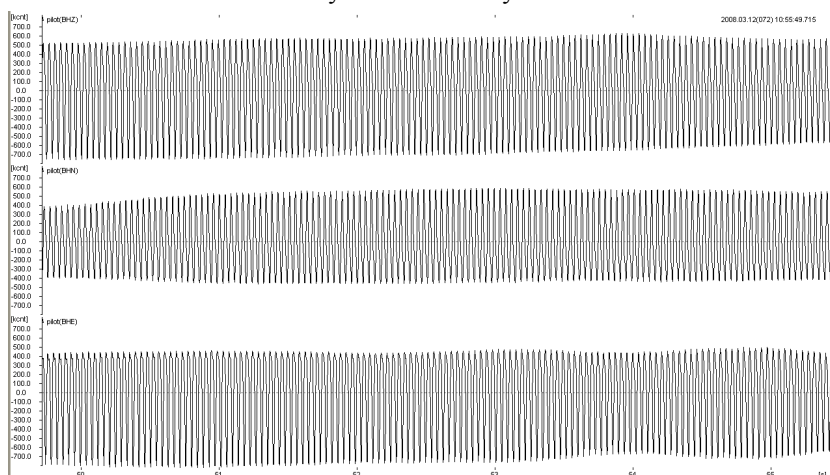
V dané lokalitě bylo provedeno experimentální seizmologické měření dynamické odezvy vibračního válce (Obr. 1). Cílem takovýchto měření je získat informace o velikosti vibrací vyvolaných v malé vzdálenosti od zdroje dynamického zatížení a sledovat útlum amplitud v těchto vzdálenostech, tj. první metry. Nedílnou součástí interpretace naměřených dat je i studium záznamů vlnových obrazů ve frekvenční oblasti za pomoci Fourierovy transformace (FFT spektra) [4]. Měření byla realizována seizmickou aparaturou Gaia2T se senzorem ViGeo2 ve vzdálenostech 5 m až 19 m od zdroje dynamického zatížení (vibrační válec). Aparatura Gaia2T je tříkanálová seizmická stanice s možností spouštěného i kontinuálního záznamu digitálních dat. Výhodou senzorů ViGeo2 je frekvenční rozsah do vyšších frekvencí, tj. od vlastní frekvence 2 Hz až do 200 Hz, a jejich větší hmotnost, což umožňuje stabilnější usazení. Vodorovné osy senzorů byly orientovány směrem k válci a kolmo na tento směr, třetí osa byla svislá. Záznamové parametry byly pro tato měření nastaveny na maximální vzorkovací frekvenci - 500 Hz/kanál. K získání informace o maximálním vibračním projevu v místě měření byla dopočítána také prostorová složka kmitání (Tab. 2). Příklad záznamu vlnového obrazu naměřeného in-situ je uveden na obrázku 2.

Tab. 2: Maximální amplitudy rychlosti kmitání

vzdálenost od zdroje dynamického namáhání [m]	maximální amplituda rychlosti kmitání - svislá složka [mm/s]	maximální amplituda rychlosti kmitání - vodorovná složka směrem k válci [mm/s]	maximální amplituda rychlosti kmitání - vodorovná složka kolmo ke směru k válci [mm/s]	maximální amplituda rychlosti kmitání - prostorová složka [mm/s]
5	10,57	8,93	2,48	14,06
6,7	6,31	5,12	2,08	8,39
10,3	2,13	1,85	2,18	3,57
14,4	0,58	2,03	1,09	2,38
18,9	0,23	1,17	0,69	1,38

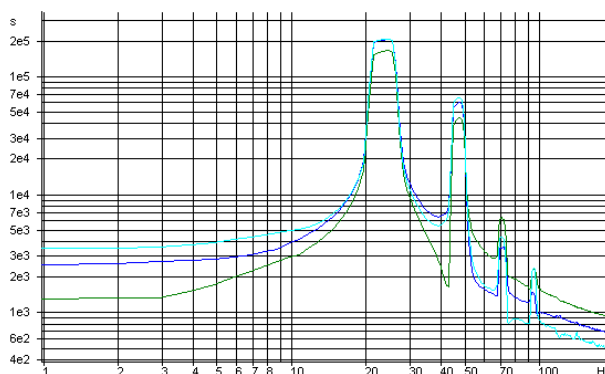


Obr. 1: Měření dynamické odezvy vibračního válce



Obr. 2: Příklad vlnového záznamu – vzdálenost 10,3 m od zdroje dynamického namáhání (vodorovná osa – čas v sekundách, svislá osa – amplituda rychlosti kmitání v kvantovacích úrovních)

Na obrázku 2 jsou shora dolů zobrazeny složky svislá /Z/, dále složka vodorovná orientovaná směrem k válci /N/ a složka kolmo na tento směr /E/. Zpracovatelský SW neumožňuje přepočtení hodnot amplitud rychlosti kmitání na fyzikální jednotky $[\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}]$, proto jsou v obrázcích svislé osy vyneseny v kvantovacích úrovních [cnt]. V daném případě je maximální rozsah na osách $2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Příklad frekvenčního spektra k danému záznamu je na následujícím obrázku 3. Převládající frekvence v záznamech se ve všech spektrech nacházejí v rozmezí 22 – 27 Hz.



Obr. 3: Příklad frekvenčního spektra – vzdálenost 10,3 m od zdroje dynamického namáhání

3 MATEMATICKÝ MODEL

Pro sestavení modelu se vycházelo z reálné situace v místě měření. Litologický profil místa stavby je znázorněn v tabulce 3. Na základě tohoto profilu byly do modelu zadány fyzikální a mechanické vlastnosti zemin. Úroveň hladiny podzemní vody se nachází v tuhých jílech, a pro daný model se s ní z důvodu zjednodušení modelu neuvažuje. Pro výpočet v matematickém modelování bylo pro vlastnosti zemin využito Mohr-Coulombova konstitutivního modelu.

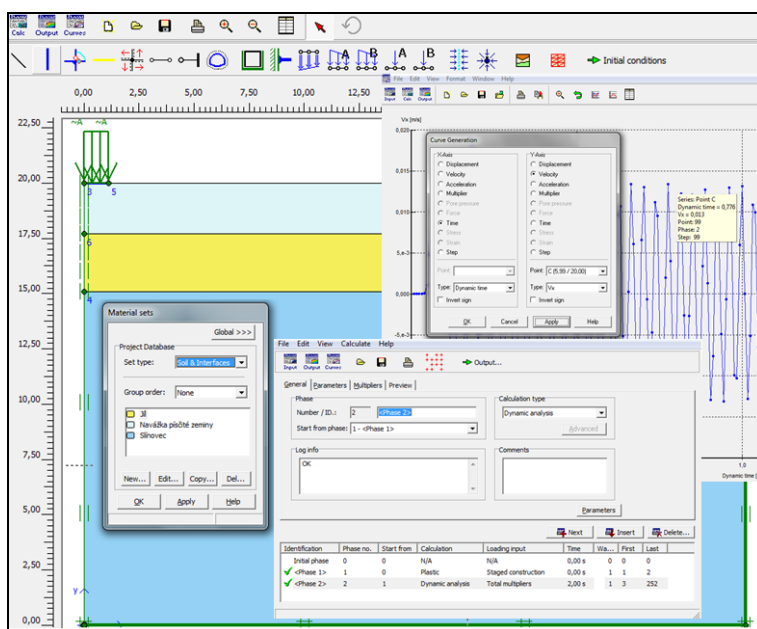
Tab. 3: Geotechnické parametry zemin použité v modelu

Hloubka [m]	Název	E_{def} [MPa]	ν [-]	γ [kN/m ³]	c_{ef} [kPa]	φ_{ef} [°]
0 – 2,3	Navážka písčité zeminy	12	0,35	19,5	5	30
2,3 – 4,9	Tuhý jíl	10	0,32	19,9	10	20
4,9 –	Navětralý a silně rozpukaný slínovec	35	0,28	20,5	14	15

Pro stanovení výsledného seizmického zatížení bylo využito matematické modelování ve výpočetním programu Plaxis V8.2 ve 2D rozhraní. Plaxis je produktem holandské společnosti Plaxis BV a byl vyvinutý pro deformační a stabilitní analýzu geotechnických úloh. Program pracuje na základě numerické metody konečných prvků (MKP).

Matematický model byl zvolen jako rotačně symetrický v rozsahu 30 x 20 m (délka x hloubka). Horninové prostředí bylo zvoleno jako třívrstvé s jednoduchým horizontálním rozhraním. V modelu byly kromě klasických geometrických okrajových podmínek zadány i tzv. absorpční podmínky (Obr. 4). Těmito podmínkami dosáhneme absorpci přírůstků napětí na hranicích modelu, které jsou způsobeny dynamickým zatížením a které by jinak byly odrazeny zpět do modelu.

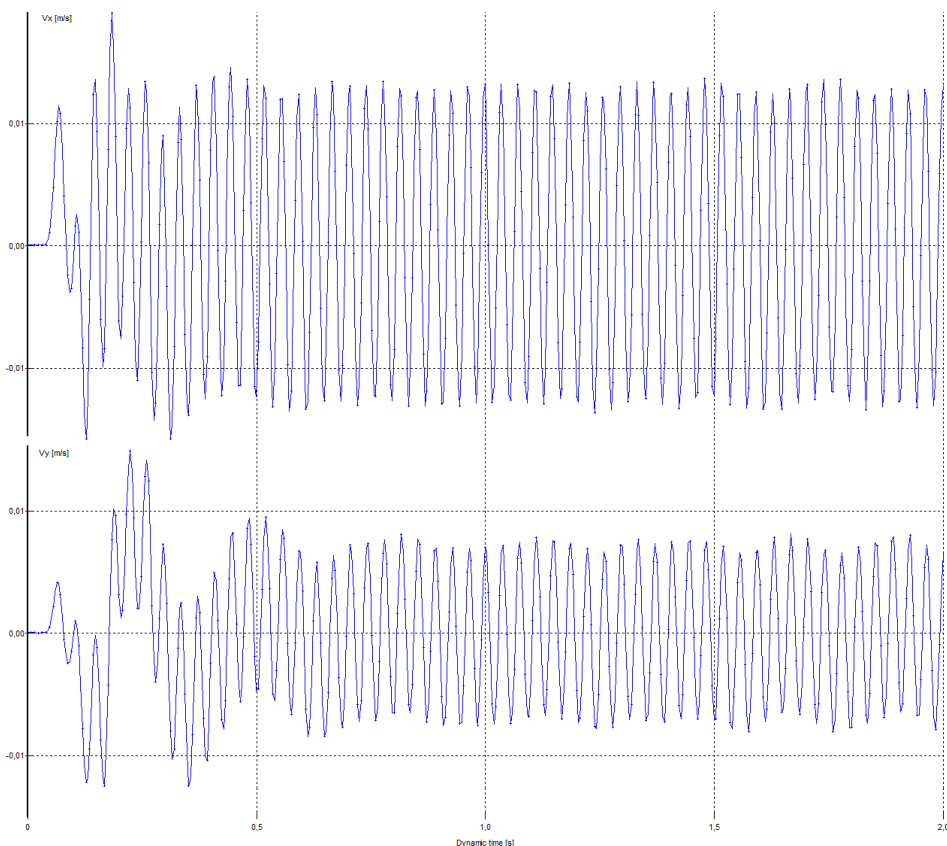
Primární napjatost byla generována programovým systémem automaticky na základě vlastností uvažovaných zemin a hloubky.



Obr. 4: Ukázka matematického modelu ve výpočetním programu Plaxis 2D

Vliv vibračního válce byl v modelu definován jako ocelová deska o zadané hmotnosti běhounu a o poloviční šíři, na kterou působí svislá dynamická síla [5]. Vlastnosti ocelové desky byly stanoveny podle parametrů výrobce (tloušťka ocelového běhounu 0,025 m) a modulu pružnosti oceli. Dynamická síla je v modelu definována jako spojitě zatížení po délce ocelové desky o velikosti 331kN a příslušející frekvenci 27Hz.

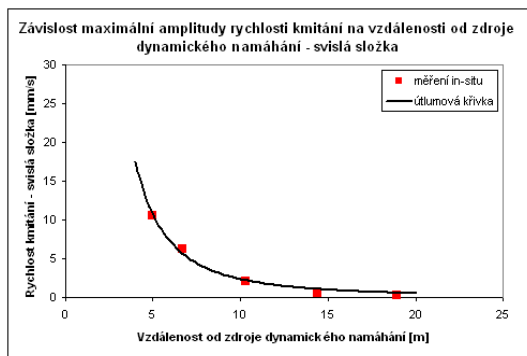
Pro výpočet nebylo uvažováno dynamické zatížení v celém časovém rozmezí jeho působení, ale pouze po dobu prvních 2 sekund. Výpočet a modelová analýza proběhly ve dvou fázích. Výstupem daného matematického modelu jsou vlnové obrazy rychlosti kmitání v různých povrchových vzdálenostech od zdroje dynamického namáhání. Příklad výstupu namodelovaného vlnového obrazu je uveden na obrázku 5, kde je zobrazena vodorovná v_x a svislá v_y složka rychlosti kmitání ve vzdálenosti 6 m od zdroje. V ustálené části těchto záznamů pak byly odečteny maximální hodnoty rychlosti kmitání. Tyto hodnoty slouží k vygenerování útlumové křivky rychlosti kmitání daného horninového prostředí.



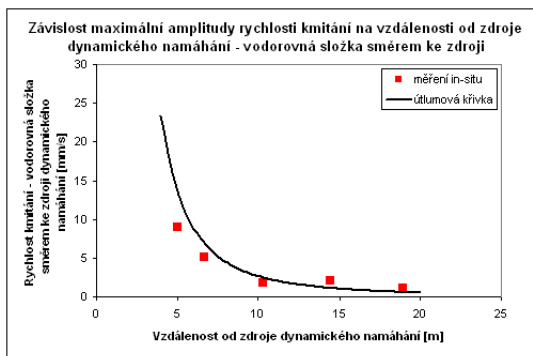
Obr. 5: Příklad vlnového obrazu z matematického modelu – vzdálenost 6 m od zdroje dynamického zatížení (shora složka vodorovná, složka svislá)

4 VÝSLEDKY

Základním cílem matematického modelu bylo stanovit velikost dynamických účinků od vibračního válce v modelovém geologickém prostředí s reálnými parametry. Na základě výstupů z matematického modelu byly vyneseny útlumové křivky pro dané prostředí a druh zatížení. Závislosti maximální amplitudy rychlosti kmitání na vzdálenosti od zdroje dynamického zatížení byly zhotoveny pouze pro svislou složku a složku vodorovnou směrem ke zdroji s ohledem na to, že se jednalo pouze o dvojdimenzionální model. Tyto křivky byly konfrontovány s reálnými hodnotami naměřenými in-situ (Obr. 6, 7).



Obr. 6: Konfrontace namodelované útlumové křivky s hodnotami naměřenými in-situ – svislá složka



Obr. 7: Konfrontace namodelované útlumové křivky s hodnotami naměřenými in-situ – vodorovná složka směrem ke zdroji

5 ZÁVĚR

Příspěvek se zabýval dynamickými účinky vyvolanými pojezdem vibračního válce. Data získaná z experimentálního seizmického měření in-situ zde byla konfrontována s dvojdimenzionálním matematickým modelem daného horninového prostředí. Výsledky byly získány pomocí rovinného rotačně symetrického modelu realizovaného programem Plaxis 2D.

Dynamické účinky, způsobené při pojezdu vibračního válce, jsou v modelu posuzovány pomocí maximálních amplitud rychlosti kmitání v závislosti na vzdálenosti od místa vibrování. Z obrázků 6 a 7 je patrná příznivá korelace mezi numerickým modelem a výsledky naměřenými in-situ. Největší nesrovnalost byla získána pro nejmenší naměřenou vzdálenost, tj. 5 m na vodorovné složce směrem ke zdroji dynamického zatížení. V malých vzdálenostech může mít lokální geologie velmi významný vliv na výsledek měření a také z matematického hlediska nejsou přesně definovány vibrační projevy v blízké zóně (předpoklad lineárního šíření impulsu v blízkosti dynamického zatížení). Tímto příspěvkem byla ověřena použitelnost výpočetního programu Plaxis 2D pro modelování dynamických účinků vibračního válce.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS, specifického výzkumu SP2011/37 a SP2011/92.

LITERATURA

- [1] PETŘÍK, T. a STOLÁRIK, M. Numerické modelování dynamických účinků od vibrované piloty. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava – Řada stavební*. 2010, roč. X, č. 2, s. 103-110. ISSN 1213-1962.
- [2] STOLÁRIK, M. Studie seizmického zatížení při zhutňování zemin těžkou vibrační technikou *Sborník referátů konference „JUNIORSTAV 2007“*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2007, s. 190. ISBN 978-80-214-3337-3.
- [3] Hamm AG. Oficiální stránky společnosti Hamm [online] dostupné na <http://www.hamm.eu/>
- [4] KALÁB, Z. *Seizmická měření v geotechnice – monografie*. Vydání první Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 125. ISBN 978-80-248-1769-5.
- [5] PETŘÍK, T. Analýza vlivu technické seizmicity od vibračního válce. *Sborník referátů konference „JUNIORSTAV 2011“*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2011, s. 205. ISBN 978-80-214-4232-0.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Blažej Pandula, CSc., F BERG, TU Košice.

Ing. Petr Hradil, Ph.D., Fakulta stavební, VUT Brno.